

104539502  
339,5302

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
1. Juli 2004 (01.07.2004)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
WO 2004/055366 A1

(51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: F03D 11/00

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2003/014394

(22) Internationales Anmeldedatum:  
17. Dezember 2003 (17.12.2003)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
102 59 680.8 18. Dezember 2002 (18.12.2002) DE

(71) Anmelder und

(72) Erfinder: WOBLEN, Aloys [DE/DE]; Argestrass 19,  
26607 Aurich (DE).

(74) Anwalt: GÖKEN, Klaus, G.; Eisenführ, Speiser & Partner, Postfach 10 60 78, 28060 Bremen (DE).

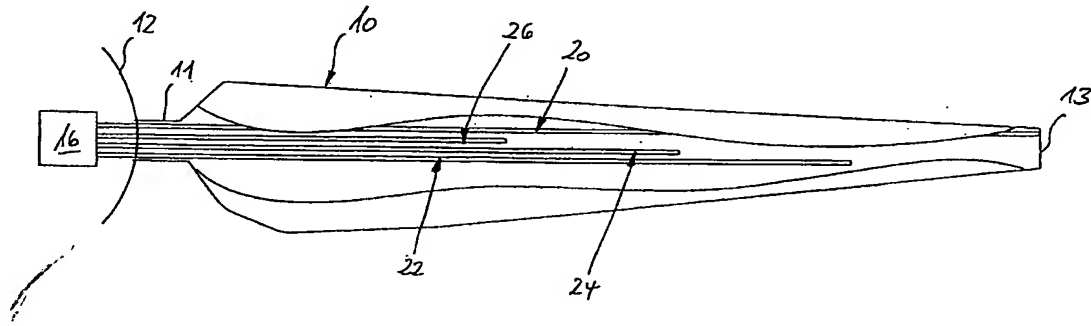
(81) Bestimmungsstaaten (*national*): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (*regional*): ARIPO-Patent (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: LOAD-RECEIVING ARRANGEMENT FOR WIND TURBINE WINGS

(54) Bezeichnung: LASTAUFNEHMERANORDNUNG FÜR WINDTURBINENFLÜGEL



(57) Abstract: The invention relates to a rotor blade (10) of a wind power plant, comprising a rotor blade connection that is joined to a rotor hub (12) of a wind power plant, and a rotor blade tip (13) located at the opposite end of the rotor blade (10). In order to create a rotor blade (10) in which a deflection can be detected with simple means, at least one electrical conductor (20, 21, 22, 23, 24, 26) that begins at the rotor blade connection and extends in the longitudinal direction of the rotor blade and back to the rotor blade connection is laid across the entire length of the rotor blade (10) while a detector (16) which detects the electrical resistance of the conductor (20, 21, 22, 23, 24, 26) is connected to a device evaluating said electrical resistance. The invention is based on the recognition that any deflection of the rotor blade results in the support structure being extended and that said extension modifies the electrical resistance of an electrical conductor when transferred thereto. The degree of deflection of the rotor blade can be inferred from the modification of the electrical resistance because said modification is proportionate to the extension of the conductor, which is proportionate to the deflection of the rotor blade.

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft ein Rotorblatt (10) einer Windenergieanlage mit einem Rotorblattanschluss zum Anschluss an eine Nabe (12) des Rotors einer Windenergieanlage und mit einer Rotorblattspitze (13), die am gegenüberliegenden Ende des Rotorblattes (10) liegt. Um ein Rotorblatt (10) anzugeben, bei dem eine Durchbiegung mit einfachen Mitteln erfasst werden kann ist über die Länge des Rotorblattes (10) wenigstens ein elektrischer Leiter (20, 21, 22, 23, 24, 26) verlegt, wobei der elektrische Leiter (20, 21, 22, 23, 24, 26) am Rotorblattanschluss beginnt, in Rotorblattlängsrichtung und zurück zum Rotorblattanschluss verläuft, und ein Detektor (16)

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2004/055366 A1



DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC,  
NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI-Patent (BF, BJ, CF,  
CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD,  
TG).

**Veröffentlicht:**

— mit internationalem Recherchenbericht

— vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden  
Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen  
eintreffen

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Ab-  
kürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Co-  
des and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der  
PCT-Gazette verwiesen.

ist vorgesehen, der den elektrischen Widerstand des Leiters (20, 21, 22, 23, 24, 26) erfasst und mit einer Auswerteeinrichtung verbun-  
den ist, die den elektrischen Widerstand bewertet. Dabei liegt der Erfindung die Erkenntnis zugrunde, dass eine Durchbiegung des  
Rotorblattes stets zu einer Streckung der Tragstruktur führt und dass eine solche Streckung, übertragen auf einen elektrischen Leiter  
zu einer Änderung des elektrischen Widerstandes des Leiters führt, aus dem auf die Durchbiegung des Rotorblattes geschlossen wer-  
den kann, da die Widerstandsänderung proportional zur Streckung des Leiters und diese wiederum proportional zur Durchbiegung  
des Rotorblattes ist.

---

**LASTAUFNEHMERANORDNUNG FÜR WINDTURBINENFLÜGEL**

---

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Rotorblatt einer Windenergieanlage mit einem Rotorblattanschluss zum Anschluss an eine Nabe des Rotors einer Windenergieanlage und mit einer Blattspitze, die am gegenüberliegenden Ende des Rotorblattes liegt. Solche Rotorblätter sind allgemein seit langem bekannt und finden bei fast allen Horizontalachsen-Windenergieanlagen Verwendung.

Weiterhin betrifft die Erfindung eine Windenergieanlage mit solchen Rotorblättern.

10

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, ein Rotorblatt anzugeben, bei dem eine Durchbiegung mit einfachen Mitteln erfasst werden kann.

15

Diese Aufgabe wird bei einem Rotorblatt der eingangs genannten Art dadurch gelöst, dass über die Länge des Rotorblattes wenigstens ein elektrischer Leiter verlegt ist, wobei der elektrische Leiter am Rotorblattanschluss beginnt, in Rotorblattlängsrichtung und zurück zum Rotorblattanschluss verläuft, und dass ein Detektor vorgesehen ist, der den elektrischen Widerstand erfasst, und dass der Detektor mit einer Auswerteeinrichtung verbunden ist, die den elektrischen Widerstand des Leiters bewertet.

20

Dabei liegt der Erfindung die Erkenntnis zugrunde, dass eine Durchbiegung des Rotorblattes stets zur Streckung der Tragstruktur führt und dass eine solche Streckung, übertragen auf einen elektrischen Leiter, zu einer Änderung des elektrischen Widerstands des Leiters führt.

25

Da diese Widerstandsänderung proportional zur Streckung des Leiters ist, ist die Widerstandsänderung proportional zur Durchbiegung des Rotorblattes. Im einfachsten Fall kann ein Grenzwert für eine Widerstandsänderung vorgegeben werden, dessen Überschreiten gleichzeitig eine strukturschädigende  
5 Durchbiegung des Rotorblattes anzeigt. Die Erkennung dieser Situation erlaubt daher einen rechtzeitigen Austausch bzw. eine Prüfung des Rotorblattes, um festzustellen, ob das Rotorblatt ersetzt werden muss oder nicht.

10 In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird aus der Belastung des Rotorblattes auf die Belastung der Windenergieanlage zurückgeschlossen und die Windenergieanlage kann bei Überschreiten eines vorgegebenen Grenzwertes abgeschaltet werden. Dadurch werden weitere und auch stärkere Belastungen zuverlässig vermieden.

15 Um eine temperaturabhängige Widerstandsänderung des elektrischen Leiters kompensieren zu können und/oder mehrere Messergebnisse bereit zu stellen, ist eine Mehrzahl von elektrischen Leitern vorgesehen. Diese Leiter verlaufen in Rotorblattlängsrichtung und sind an einem Detektor angeschlossen. Dabei können mehrere Leiter an einen Detektor oder jeder Leiter an einen eigenen  
20 Detektor angeschlossen sein. Der zur Temperaturkompensation vorgesehene Leiter wird derart angeordnet, dass er der Biegebeanspruchung nicht unterworfen ist und deshalb nur eine temperaturabhängige Widerstandsänderung erfährt. Dadurch ist die temperaturbedingte Widerstandsänderung bekannt und kann entsprechend berücksichtigt werden.

25 Eine Mehrzahl von Leitern erlaubt auch eine redundante Verwendung. Im Fall einer Störung eines Leiters kann die Widerstandsänderung durch die redundanten Leiter immer noch sicher erfasst werden. Dadurch entfällt die Notwendigkeit einer aufwändigen Instandsetzung wegen des Ausfalls eines Leiters.

30 Außerdem erlaubt die redundante Ausführung der Leiter auch eine vergleichende Ermittlung der Widerstandsänderung. Somit können die Leiter jeweils

durch einen Vergleich der detektierten Widerstandsänderung untereinander überwacht werden.

Besonders bevorzugt erstreckt sich wenigstens einer der elektrischen Leiter  
5 ein vorgegebenes Maß Rotorblattlängsrichtung, wobei das Maß aber kürzer  
als die Rotorblattlänge ist. Dieser Leiter erreicht die Rotorblattspitze nicht,  
sondern endet an einer vorgegebenen Stelle im Rotorblatt. Somit werden die  
einzelnen Leiter abhängig von der Durchbiegung des Rotorblattes unter-  
10 schiedlich beeinflusst und ändern ihren Widerstand entsprechend. Daher kann  
aus den unterschiedlichen Werten der Widerstandsänderung auf den genauen  
Verlauf der Durchbiegung geschlossen werden.

In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung können die kürzer als die  
Rotorblattlänge ausgebildeten Leiter auch als Abzweigungen eines sich über  
15 die gesamte Rotorblattlänge erstreckenden Leiters ausgebildet sein. Dazu  
werden sie an vorgegebenen Stellen mit dem sich über die Rotorblattlänge  
erstreckenden Leiter galvanisch verbunden. Dadurch ist die Auflösung bei der  
Erfassung der Rotorblatt-Durchbiegung entsprechend der Anzahl und der  
Abstände der Abzweigungen variierbar.

20 Um unerwünschte Verformungen der elektrischen Leiter zu vermeiden, sind  
diese bevorzugt mit der Tragstruktur des Rotorblattes verbunden und beson-  
ders bevorzugt in die Tragstruktur des Rotorblattes eingeschlossen. Dabei  
sind insbesondere bevorzugt die Leiter in die Tragstruktur eingeschlossen, die  
25 durch die Durchbiegung des Rotorblattes gedehnt werden sollen. Als Abzwei-  
gungen mit solchen Leitern galvanisch verbundene Leiter, die hier die Funkti-  
on von Rückleitern übernehmen, können auch außerhalb der Tragstruktur z.  
B. in Form eines Kabels frei verlegt werden.

30 Dabei ist es besonders vorteilhaft, in jeder Tragstruktur in Rotorblattlängsrich-  
tung wenigstens einen elektrischen Leiter vorzusehen. Diese Anordnung ges-  
tattet auch die Erfassung der Richtung der Durchbiegung des Rotorblattes, da

einer der elektrischen Leiter einer Dehnung unterworfen wird und somit seinen Widerstand verändert, nämlich erhöht, während wenigstens ein anderer Leiter nicht gedehnt wird. Vielmehr wird dieser Leiter bei geeigneter Montage einer Druckbelastung anstelle einer Zugbelastung ausgesetzt und somit eher gestaucht als gelängt. Damit ändert sich dessen Widerstandswert allenfalls in  
5 der entgegengesetzten Richtung. Er verringert sich also.

Besonders bevorzugt enthalten die elektrischen Leiter erfindungsgemäß wenigstens einen vorgegebenen Aluminium-Anteil bzw. bestehen aus Aluminium.  
10 Dadurch ergibt sich bereits im Bereich einer elastischen Verformung des Leiters eine signifikante Widerstandsänderung, die vollständig reversibel und somit wiederholbar ist. Entsprechend kann die Biegung des Rotorblattes dauernd überwacht werden, ohne dass nach einer Durchbiegung ein Tausch der elektrischen Leiter oder sogar des ganzen Rotorblattes erforderlich wäre. Allerdings eignet sich grundsätzlich jeder elektrische Leiter als Sensor. Dabei  
15 sollte der Leiter aber eine vorgegebene Oberflächen-Rauhigkeit aufweisen, um eine gute mechanische Verbindung mit dem umgebenden Material zu erreichen.

Um im Fall einer Störung im Bereich der elektrischen Leiter, z. B. nach einer Überdehnung oder durch Materialfehler, nicht das gesamte Rotorblatt austauschen zu müssen, sind die Leiter vorteilhaft in einen mit der Tragstruktur verbundenen aber lösbaren Teil eingeschlossen. Mit einer solchen Ausbildungsform der Erfindung lassen sich auch bereits hergestellte Rotorblätter nachrüsten.  
25

Nachfolgend wird die Erfindung anhand der Figuren näher erläutert. Dabei zeigt:

30 Fig. 1 eine Draufsicht auf ein teilweise geschnittenes Rotorblatt einer ersten Ausführungsform der Erfindung;

Fig. 2 eine Draufsicht auf ein teilweise geschnittenes Rotorblatt einer zweiten Ausführungsform der Erfindung;

- Fig. 3 eine Draufsicht auf ein teilweise geschnittenes Rotorblatt einer dritten Ausführungsform der Erfindung;
- 5 Fig. 4 eine vereinfachte Seitenansicht eines in einer ersten Weise durchgebogenen Rotorblattes;
- Fig. 5 eine vereinfachte Seitenansicht eines in einer zweiten Weise durchgebogenen Rotorblattes;
- 10 Fig. 6 eine vereinfachte Querschnittsdarstellung eines Rotorblattes;
- Fig. 7 eine weitere, vereinfachte Querschnittsansicht eines Rotorblattes;
- 15 Fig. 8 den Widerstandsverlauf eines erfindungsgemäß verwendeten Leiters;
- Fig. 9 eine Prinzipausführung eines erfindungsgemäßen Rotorblattes nebst Messdiagrammen b) - e) bei einer analogen Phasenverschiebung;
- 20 Fig. 10 eine Prinzipdarstellung einer erfindungsgemäßen Messeinrichtung a) bei einem Rotorblatt sowie die daraus ergebenden Messdiagramme bei einer digitalen Phasenverschiebung (b) - d));
- Fig. 11 eine Prinzipdarstellung eines Rotorblattes mit einer Messleitung;
- 25 Fig. 12 eine Darstellung nach Fig. 11 mit eingepprägtem Strom bzw. Spannung;
- Fig. 13 eine Prinzipdarstellung eines erfindungsgemäßen Rotorblattes mit einer Messleitung bei Eingabe eines Eingangsimpulses und Messung eines Ausgangsimpulses sowie ein hierzu entsprechendes Zeitdiagramm;
- 30 Fig. 14 ein Schaltdiagramm für ein Stopuhrverfahren nebst Zeitdiagramm; und
- 35 Fig. 15 Schaltung nach Fig. 14 jedoch für einen optischen Aufbau mit Darstellung des entsprechenden Messzeitdiagramms.
- 40 In Figur 1 ist ein Rotorblatt 10 in einer Draufsicht dargestellt. Zur Verdeutlichung des Aufbaus ist das Rotorblatt 10 teilweise aufgeschnitten, so dass der Verlauf von zwei Leitern 20, 22 erkennbar ist.

Das Rotorblatt 10 ist mit der Rotorblattwurzel 11 an der Nabe 12 einer Windenergieanlage angebracht, die hier und in den übrigen Figuren lediglich zur

45

Orientierung angedeutet ist. In dem Rotorblatt verlaufen ein erster Leiter 20 und ein zweiter Leiter 22 von der Rotorblattwurzel 11 in Längsrichtung des Rotorblattes bis zur Rotorblattspitze 13 hin und zurück. Entsprechend umfasst jeder der Leiter 20, 22 einen Hinleiter 20a, 22a und einen Rückleiter 20b, 22b.

5 Beide Leiter 20, 22 sind an einen Detektor 16 angeschlossen, der den elektrischen Widerstand beider Leiter 20, 22 ermittelt.

Dabei ist der erste Leiter 20 geradlinig dargestellt. Dadurch wird versinnbildlicht, dass dieser Leiter mit dem Rotorblatt derart verbunden ist, dass eine  
10 Dehnung der Rotorblattstruktur auch zu einer Dehnung dieses Leiters 20 führt. Der zweite Leiter 22 ist im Bereich der Rotorblattspitze 13 ungeradlinig verlegt dargestellt. Dadurch wird angedeutet, dass dieser Leiter mit dem Rotorblatt 10 nicht derart verbunden ist, dass er sich mit verformt. Vielmehr soll sich dieser zweite Leiter 22 gerade nicht verformen. Entsprechend ändert sich sein Wi-  
15 derstand vor allen Dingen abhängig von der Temperatur, so dass der Temperatureinfluss auf die Änderung des Widerstandes bekannt ist und bei der Erfassung der Widerstandsänderung des ersten elektrischen Leiters 20 berücksichtigt werden kann und nicht zu falschen Ergebnissen führt.

20 Der Detektor 16 kann mit der Steuerung der Windenergieanlage verbunden sein, so dass beim Betrieb der Windenergieanlage auch die Durchbiegung der Rotorblätter berücksichtigt werden kann.

Figur 2 zeigt einen ähnlichen Aufbau, wie er bereits in Figur 1 erläutert wurde.  
25 Allerdings sind hier vier elektrische Leiter 20, 22, 24, 26 dargestellt. Ein Leiter zur Temperaturkompensation ist hier wegen besserer Übersichtlichkeit nicht dargestellt, kann aber natürlich auch bei dieser Ausführungsform vorgesehen sein.

30 In dieser Figur sind alle vier elektrischen Leiter 20, 22, 24, 26 derart mit dem Rotorblatt 10 verbunden, dass sie der Durchbiegung des Rotorblattes 10 folgen. Da sich diese Leiter aber in Längsrichtung des Rotorblattes 10 unter-



schiedlich weit erstrecken, kann aus der Widerstandsänderung der einzelnen Leiter bei Kenntnis ihrer Länge auf die Verformung des Rotorblattes 10 rückbeschlossen werden.

5 Wäre nur der erste Leiter 20 vorhanden, der sich bis zur Rotorblattspitze 13 erstreckt, könnte aus der Widerstandsänderung lediglich auf eine Durchbiegung an sich geschlossen werden. Da aber der zweite Leiter 22 sich nicht bis zur Rotorblattspitze 13 hin erstreckt, kann aus einer Widerstandsänderung in dem ersten Leiter 20 gefolgert werden, dass eine Durchbiegung an der Rotorblattspitze auftritt. Treten bei den übrigen Leitern 22, 24, 26 keine Widerstandsänderungen auf, womit hier und nachfolgend dehnungsabhängige Widerstandsänderungen gemeint sind, dann ist diese Durchbiegung erkennbar nur auf den äußeren, Rotorblattspitzen nahen Bereich des Rotorblattes 10 beschränkt.

15

Treten Widerstandsänderungen an den Leitern 20, 22 und 24 auf während der Widerstand des Leiters 26 unverändert bleibt, lässt dies die Aussage zu, das Rotorblatt wird in Längsrichtung etwa in der äußeren Hälfte durchgebogen.

20 Auch in dieser Figur sind die Leiter 20, 22, 24, 26 an den Detektor 16 angeschlossen, der wiederum mit der Steuerungseinrichtung zur Steuerung der Windenergieanlage verbunden sein kann.

In Figur 3 ist eine alternative Ausführungsform der Erfindung dargestellt. In dem Rotorblatt 10 verläuft ein Leiter 20 von dem Detektor 16 die gesamte Rotorblattlänge entlang bis zur Rotorblattspitze 13. An diesen Leiter 20 sind Abzweigungen 28 mittels galvanischer Verbindung 29 angeschlossen. Durch die Auswahl der Anzahl und Position der Abzweigungen kann vorgegeben werden, welche Bereiche des Rotorblattes 10 mit welcher Genauigkeit überwacht werden sollen. Oder anders ausgedrückt, mit welcher Auflösung in welchem Bereich des Rotorblattes 10 eine Durchbiegung erfasst werden soll.

30

- 8 -

Insbesondere bei der in dieser Figur dargestellten Ausführungsform der Erfindung wird deutlich, dass die Verwendung eines Steckverbinders im Bereich der Rotorblattwurzel 11 (hier jedoch nicht dargestellt) vorteilhaft ist, da die Leiter 20, 28 bei der Herstellung des Rotorblattes 10 bereits an den Steckverbinder angeschlossen und die Verbindungen geprüft werden können. Bei der Montage des Rotorblattes auf der Baustelle können dann bereits konfektionierte Kabel verwendet werden, um die Verbindung zu dem Detektor herzustellen. Auf diese Weise wird eine einfache und wenig fehleranfällige Montage verwirklicht.

Figur 4 zeigt vereinfacht eine Seitenansicht eines durchgebogenen Rotorblattes 10. Auch in dieser Figur ist der Blattwurzelbereich 11, die angedeutete Nabe 12 und der Detektor 16 dargestellt. Dabei ist der Abstand der Leiter 20 zur Oberfläche des Rotorblattes 10 keinesfalls maßstäblich zu verstehen. Vielmehr gilt, dass die Erfassung der Durchbiegung um so genauer ist, je näher die Leiter 20 an der Oberfläche des Rotorblattes 10 verlaufen. Zur Erläuterung sollen in dieser Figur natürlich die Oberfläche des Rotorblattes 10 und die Leiter 20 unterscheidbar sein.

Das Rotorblatt 10 ist in dieser Figur nach unten gebogen. Entsprechend sei die in Biegerichtung gelegene Seite des Rotorblattes 10 die Unterseite und die gegenüberliegende Seite entsprechend die Oberseite.

Aus dieser Figur ist deutlich erkennbar, dass ein Leiter 20 an der Oberseite und ein Leiter 21 an der Unterseite des Rotorblattes 10 vorgesehen ist. Bei der dargestellten Durchbiegung des Rotorblattes wird der Leiter 20 an der Oberseite des Rotorblattes gedehnt und verändert sein Widerstand signifikant, so dass dies sicher von dem Detektor 16 erfasst werden kann. Der Leiter 21 an der Unterseite des Rotorblattes 10 wird bei dieser Durchbiegung nicht gedehnt sondern allenfalls gestaucht. Dadurch ergibt sich in diesem Leiter sicher keine Widerstandserhöhung. Folglich kann aus der Widerstandsänderung in dem Leiter 20 an der Oberseite des Rotorblattes 10 zuverlässig auf die Richtung der Durchbiegung des Rotorblattes geschlossen werden.

In Figur 5 ist ein Sonderfall der Durchbiegung des Rotorblattes 10 dargestellt, der jedoch keineswegs praxisfremd ist. Dabei ist das Rotorblatt in seinem mittleren Bereich in Richtung Pfeiles A (zur Unterseite hin) durchgebogen, in seinem äußeren, der Rotorblattspitze 13 nahen Bereich aber in Richtung des Pfeiles B, also zur Rotorblattoberseite hin. Eine Ausrüstung des Rotorblattes 10 mit Leitern 20, 21, die beide bis zur Rotorblattspitze 13 verlaufen, würde für beide Leiter eine Dehnung ergeben.

10 Sieht man einmal von einem Störfall ab, kann bereits daraus eine gefährliche Durchbiegung des Rotorblattes 10 abgeleitet und die Anlage entsprechend gesteuert, z. B. abgeschaltet werden. Allerdings ist daraus noch nicht der tatsächliche Verlauf der Rotorblattdurchbiegung erkennbar. Da weitere Leiter 22, 23 vorgesehen sind, die nicht bis zur Rotorblattspitze 13 verlaufen, wird bei der dargestellten Durchbiegung auch der Leiter 22 gedehnt und erhöht seinen deshalb entsprechend seinen Widerstand auch nicht erhöht. Entsprechend kann aus der Erfassung der Widerstände bzw. Widerstandsänderungen der Leiter 20, 21, 22, 23 durch den Detektor 16 jetzt auf die tatsächliche Durchbiegung des Rotorblattes 10 geschlossen werden. Dabei sei nochmals hervorgehoben, dass die Leiter 20, 21, 22, 23 sehr dicht nebeneinander und möglichst nahe an den jeweiligen Oberflächen des Rotorblattes 10 verlaufen, so dass die vermeintlich in dieser Figur erkennbare Dehnung des zweiten Leiters 23 an der Unterseite des Rotorblattes in der Realität nicht auftritt.

25 Alternativ zu dieser Ausführungsform mit mehreren Leitern 20, 21, 22, 23 unterschiedlicher Länge, die hier als Leiterschleifen ausgebildet sein können, kann an der Oberseite und/oder an der Unterseite des Rotorblattes 10 natürlich auch die in Figur 3 dargestellte Ausführungsform der Erfindung verwendet werden. Somit ergeben sich natürlich auch die dort beschriebenen Vorteile, insbesondere der Möglichkeit, die Genauigkeit der Erfassung der Durchbiegung durch Auswahl von Anzahl und Abstand der Abzweigungen vorzugeben.

- 10 -

In den Figuren 6 und 7 ist vereinfacht ein Querschnitt durch ein erfindungsgemäßes Rotorblatt gezeigt. In dem in Figur 6 gezeigten Rotorblatt sind jeweils die in Längsrichtung verlaufenden Tragstrukturen 34, 36 dargestellt. Diese Tragstrukturen 34, 36 könne z. B. Rowing-Gurte sein, also aus Glasfaserbündeln und Epoxidharz gebildete Tragstrukturen, die sich im Wesentlichen über die volle Rotorblattlänge erstrecken.

In diesen Tragstrukturen 34, 36 sind elektrische Leiter 20, 21, 22, 23 eingebettet. Dabei sind Hin- und Rückleiter jeweils mit den Buchstaben a und b bezeichnet, um zu verdeutlichen, dass es sich jedes Mal um einen von der Rotorblattwurzel aus in Längsrichtung des Rotorblattes hin und zurück verlaufenden Leiter handelt.

Durch das Einarbeiten der Leiter 20, 21, 22, 23 in die Tragstrukturen 34, 36 kann der Verlauf sehr exakt festgelegt werden. Damit ist auch ein Verlauf möglichst nahe an der jeweiligen Oberfläche des Rotorblattes gewährleistet, so dass die Rückschlüsse aus den Widerstandsänderungen mit hinreichender Sicherheit gezogen werden können.

Figur 7 zeigt ebenfalls die Tragstrukturen 34, 36. Allerdings sind die Leiter 20, 21, 22, 23 hier nicht in den Tragstrukturen 34, 36 selbst eingearbeitet, sondern in Trägern 38. Diese Träger 38 können den gleichen Aufbau wie die Tragstrukturen 34, 36 aufweisen, so dass das Zusammenwirken zwischen den Trägern 38 und den Leitern 20, 21, 22, 23 exakt dem Zusammenwirken der Leiter mit den Tragstrukturen 34, 36 entspricht.

Die Träger 38 können dabei mit den Tragstrukturen 34, 36 fest aber lösbar verbunden sein. Sollte durch Materialfehler oder einen anderen Schaden der Austausch eines Leiters erforderlich sein, dann führt dies nicht zwangsläufig zu dem Verlust des vollständigen Rotorblattes bzw. zu dessen sehr aufwändiger Reparatur, sondern der entsprechende Träger 38 wird von der Tragstruktur 34, 36 gelöst und durch einen neuen ersetzt.

Durch diese Ausführungsform der Erfindung wird bei geeigneter Auswahl der Verbindung zwischen den Tragstrukturen 34, 36 und den Trägern 38 oder auch der Verbindung zwischen der Oberfläche des Rotorblattes 10 (natürlich an der Innenseite) und den Trägern 38 eine Nachrüstung bereits fertiggestell-  
5 ter Rotorblätter möglich.

Figur 8 zeigt den empirisch ermittelten Verlauf des elektrischen Widerstandes eines Drahtes in Abhängigkeit von der Zugspannung. Der linke Bereich 40 der Kennlinie verläuft geradlinig, der mittlere Bereich 42 der Kennlinie steigt signi-  
10 fikant an und im rechten Bereich 44 verläuft die Kennlinie zunächst wieder geradlinig, bevor es zu einer schlagartigen Widerstandserhöhung mit anschließender Widerstandsverringerung und schließlich einer Widerstandserhöhung kommt.

15 Der rechte Bereich 44 der Kennlinie hat sich als charakteristisch für das Abreißen des elektrischen Leiters bei zu hoher Zugspannung erwiesen. Hingegen verläuft die Widerstandsänderung im mittleren Bereich 42 der Kennlinie in einem Bereich elastischer Verformung des elektrischen Leiters. Bei den Mess-  
20 reihen zur Ermittlung dieser Kennlinie wurde der Bereich der elastischen Verformung des elektrischen Leiters bei einer Dehnung in Längsrichtung von unter einem Prozent der einfachen Leiterlänge und bei Aluminium insbesondere im Bereich von 0,3 Prozent ermittelt.

25 Eine Dehnung eines Aluminiumdrahtes in Längsrichtung um 0,3 Prozent ist demnach eine elastische Verformung, die jedoch zu einer signifikanten und detektierbaren Widerstandsänderung führt. Diese wurde in den Messreihen mit bis zu 25 mΩ ermittelt.

30 Da die Verformung elastisch ist, wird der elektrische Leiter dadurch nicht geschädigt und die Widerstandsänderung ist zuverlässig reproduzierbar. Ent-

sprechend kann die Durchbiegung des Rotorblattes mit den gleichen elektrischen Leitern wiederholt erkannt werden.

Die weiteren Fig. 9 bzw. 10 zeigen eine Ergänzung bzw. Alternative zu dem  
5 bisher beschriebenen Verfahren bzw. bisher offenbarten Lösungsansatz. Dieser Lösungsansatz kann mit analogen und/oder digitalen Signalen implementiert werden. Beiden Lösungen gemäß Fig. 9 und 10 ist gemein, dass die Laufzeit der Signale in der Schaltung nicht in die Laufzeiterkennung einfließt. Dadurch kann die tatsächliche Laufzeit in der Leitung ermittelt werden.

10

Der Aufbau der analogen und digitalen Lösung in den Fig. 9 und 10 ist weitgehend vergleichbar. In beiden Fällen befinden sich zwischen dem Sender und dem Empfänger zwei Leitungen, nämlich eine Referenzleitung, deren Länge sich nicht ändert und parallel dazu eine Messleitung, über deren Dehnung die Durchbiegung z.B. eines Rotorblattes erfasst wird. Neben der Tatsache, dass hier die Laufzeit zwischen der Referenzleitung und der Messleitung verglichen werden können, unterliegen diese beiden Leitungen auch  
15 gleichen thermischen Einflüssen, so dass deren Wirkung kompensiert wird.

20 Bei der analogen Lösung (ersten Alternative) sind im Ruhezustand das Referenzsignal (ein analoges elektrisches Signal) und das Messsignal phasengleich. Entsprechend ergibt sich ein Summensignal mit gleicher Frequenz, aber höherer Amplitude.

25 Kommt es durch die Dehnung der Messleitung zu einer Phasenverschiebung, ändert sich natürlich auch das Summensignal. Einerseits ist der Spitze-Spitze-Wert geringer als bei phasengleichen Signalen, weiterhin ergibt sich auch eine geänderte Hüllkurve für das Summensignal.

30 Wie solche Änderungen erfasst werden, ist im Stand der Technik ausreichend bekannt. Es ist leicht erkennbar, dass bis zu einer Phasenverschiebung von  $180^\circ$  die Amplitude geringer wird. Über diesen Bereich hinaus bis zu einer

vollständigen Periode müssen die Vorzeichen mit berücksichtigt werden, um eine zuverlässige Aussage zur Phasenlage zu erreichen.

Bei der digitalen Lösung ergibt sich bei phasengleichem Eingang der Signale am Empfänger der geringste arithmetische Mittelwert (natürlich auch abhängig vom Tastverhältnis). Ein weiterhin gleiches Tastverhältnis vorausgesetzt nimmt der arithmetische Mittelwert aber mit zunehmender Phasenverschiebung zwischen Referenzsignal und Messsignal zu. Dieser ist daher ein Maß für die Phasenverschiebung der Signale am Empfänger.

Die oben beschriebenen Verfahren lassen sich mit elektrischen Signalen, optischen Signalen und grundsätzlich auch mit akustischen Signalen verwirklichen. Grundsätzlich gilt, dass bei geringer Dehnung die Wahl einer hohen Frequenz vorteilhaft ist (d.h. einer Frequenz von mehr als 1kHz, bevorzugt mehrere MHz), während bei großer Dehnung die Wahl einer niedrigen Frequenz zu bevorzugen ist, um jeweils eine Phasenverschiebung im Bereich innerhalb einer Periode zu erhalten.

Die vorliegende Anmeldung macht sich auch ausdrücklich den Inhalt der deutschen Patentanmeldungen 38 21 642 sowie 37 12 780 zum eigenen Inhalt. Aus diesen Anmeldungen ist bekannt, wie Längen- oder Abstandsänderungen, die durch Änderung physikalischer Größen wie Temperatur oder Druck bedingt sind, mittels Laufzeitmessung von elektrischen Signalen in einem der physikalischen Größe ausgesetzten Lichtwellenleiter bestimmt werden können. Über einen optischen Multivibrator werden Signale in den Lichtwellenleiter eingespeist. Dabei wird über einen hochfrequenten Zähler die Gesamtlaufzeit mehrerer Pulse bestimmt. Durch Vergleich mit einem Normzählergebnis (Referenz) wird die Abweichung des tatsächlich ermittelten Zählergebnisses von diesem Normzählergebnis festgestellt, hieraus die eintretende Längen- oder Abstandsdifferenz ermittelt und diese Längen- bzw. Abstandsdifferenz in die zu bestimmende physikalische Größe umgesetzt.

Aus DE 37 12 780 ist ein Verfahren und eine Einrichtung zur genauen und schnellen Messung der Länge einer zu testenden Leitung bis zu einer elektrischen Diskontinuität in der Leitung bekannt, wobei eine Impulsflanke durch einen Impulsflankengenerator einem Ende der Leitung zugeführt wird, die von der Diskontinuität zu dem einen Ende zurücklaufende reflektierte Impulsflanke  
5 detektiert wird, die Erzeugung einer Impulsflanke nach einer vorgegebenen Zeit nach der Detektierung der reflektierten Impulsflanke ausgelöst wird, so dass der Impulsflankengenerator veranlasst wird, wiederholt die Impulsflanke zu erzeugen mit einer Frequenz, die in Beziehung steht zur Laufzeitverzögerung in der Länge der Leitung und diese Frequenz gemessen wird. DE 37 12  
10 780 beschreibt somit, wie eine "Diskontinuität" in der Leitung erfasst werden kann und zeigt auch die Möglichkeit auf, anstelle der Laufzeit den Kehrwert, also nämlich die Frequenz zu verwenden.

15 Gemäß DE 38 21 642 wird die Laufzeit in einem Leiter zwischen einem Sender und Empfänger erfasst und dies geschieht mittels des sogenannten Stoppuhrverfahrens, d.h. mit der Aussendung eines Impulses beginnt die Zählung von Takten eines Signals mit einer deutlich höheren Frequenz und diese Zählung wird solange fortgesetzt, bis der Empfänger den Impuls emp-  
20 fängt. Der Zählwert ist dann das Maß für die Laufzeit.

Gemäß Fig. 11 ist nunmehr (wie auch schon in Fig. 9 und 10) grundsätzlich ein Rotorblatt gezeigt mit einer darin angeordneten Messleitung, welche bevorzugt in der Oberfläche des Rotorblattes als Messdraht (oder LWL) einge-  
25 lassen ist). Mechanische Lasten (Windlasten) biegen das Rotorblatt und die Messleitung wird in der Länge gedehnt bzw. gestaucht. Diese Laständerung ist also proportional zur Längenänderung

$$\Delta F \sim \Delta l.$$



- 15 -

Es ist mit einer Längenänderung von 0,0% bis 0,2% zu rechnen, die 0,0% bis 100% Last entsprechen. Aufgabe ist es also, die Längenänderung mit einer möglichst hohen Auflösung zu bestimmen.

- 5 Als erste Lösung kann der ohmsche Widerstand des Drahtes proportional zur Länge und damit auch zur Last angenommen werden.

$$\Delta R \sim \Delta l \sim \Delta F.$$

- 10 In den Draht wird ein Strom eingeprägt und der Spannungsabfall darüber gemessen, wie es in Fig. 12 dargestellt ist.

Versuche haben gezeigt, dass dieses Prinzip funktioniert.

- 15 Es gibt aber einige Probleme, weil eine sehr hohe Messgenauigkeit erforderlich ist ( $< 0,002\%$ ), da das Signal 0,2% vom Absolutwert beträgt und es noch in mindestens 100 Abstufungen unterteilt werden muss. Ferner ändert sich der ohmsche Widerstand des Drahtes sehr stark mit der Drahttemperatur. Das Signal ist überlagert mit Störungen, die durch elektrische und magnetische Felder erzeugt werden können. Dies macht sich besonders bei Gewittern bemerkbar. Der Draht mit der angeschlossenen Elektronik kann durch direkte Blitztreffer beschädigt werden.
- 20

- Eine alternative Lösung ist in Fig. 13 dargestellt. Dabei wird die Länge des Laufdrahts durch die Laufzeit eines Impulses bestimmt. Die Geschwindigkeit beträgt  $2/3$  Lichtgeschwindigkeit, also etwa 200.000 km/s.
- 25

Wie in der Fig. 13 zu sehen, ist der

30  $\Delta t \sim \Delta l \sim \Delta F$

und die Änderung der Laufzeit ist ein Maß für die Last.

- 16 -

Bei einer angenommenen Leitungslänge von 40m ergibt sich  $t = 200$  ns mit einer Überlagerung von  $\Delta t$  von 0 bis 400ps.

- 5 Da diese Zeit messtechnisch nicht so einfach zu erfassen ist, wird der Kehrwert gebildet, nämlich als

10 
$$f = \frac{1}{t + \Delta t}$$

Nun ergibt sich eine Frequenz.

- 15 Frequenzwerte sind sehr einfach zu bestimmen und der Messwert lässt sich beliebig fein auflösen (durch Anpassen der Torzeit des Frequenzzählers).

- Aus der Laufzeit des Signals wird nun eine Frequenz gebildet, indem der ankommende Impuls sofort einen neuen Impuls in die Leitung schickt (Stoppuhrverfahren). Die Anzahl abgesendeter Impulse pro Sekunde bildet die Frequenz.
- 20

Fig. 14 zeigt ein entsprechendes Schaltbild hierfür nebst Diagramm.

- Der Impuls wird durch einen Pegelwechsel ersetzt und wie erwartet stellt sich
- 25 eine Frequenz von

$$f = \frac{1}{2t} \text{ ein, also mit } t = \frac{l}{2\left(\frac{2}{3}c\right)}.$$

Bei einer Leitungslänge von 40m ergibt das

- 17 -

$$f = \frac{40m}{2(200 \cdot 10^{-9} m/s + \Delta t)} = 2,5 MHz$$

Durch Lasteinwirkung ergeben sich Frequenzen zwischen 2,5MHz und 2,505MHz, also eine Werteänderung 5000Hz.

5

Ein Frequenzzähler mit einer Torzeit von 20ms würde 50 Werte pro Sekunde mit einer Auflösung der Last von 1% liefern. Diese Werte bestehen dann bereits aus Mittelwerten von 50 einzelnen Längenmessungen.

10 Es ergibt sich also dann der Vorteil, dass keine empfindliche Analogsensorik erforderlich ist, da ein hoher Störabstand (0V oder 10V) vorhanden ist und sich keine störende Laufzeitänderungen durch Temperaturschwankungen ergeben.

15 Dies gilt insbesondere gemäß der Lösung nach Fig. 9 und 10, wo neben der Messleitung auch eine Referenzleitung ausgebildet ist.

Die zuvor beschriebene Lösung lässt sich auch optisch realisieren. Dabei wird ein Draht durch einen Lichtwellenleiter ersetzt und die Rückkopplung durch  
20 LWL-Sender und LWL-Empfänger realisiert, wie dies in Fig. 15 dargestellt ist.

Hierbei ergeben sich besonders die Vorteile, dass keine empfindliche Analogsensorik erforderlich ist, da ein hoher Störabstand (Licht an oder aus) vorhanden ist, keine störenden Laufzeitänderungen durch Temperaturschwankung  
25 kung sich ergeben, keine Störung des LWL-Kabels durch elektrische oder magnetische Felder gegeben ist und auch keine Auswirkungen durch einen Blitzschlag zu erwarten sind.

Es ist zu erwarten, dass in der Praxis die Biegung des Blattes schon bei einer  
30 Längenänderung von weniger als 1mm deutlich zu messen ist. Soweit in der vorliegenden Anmeldung beschrieben ist, ist die erfindungsgemäße Lösung

zur Längenänderung des Rotorblattes einzusetzen, so sei darauf verwiesen, dass auch die Torsion des Rotorblattes messbar ist, wenn die Messleitung entsprechend spiralförmig auf der Oberfläche des Rotorblattes angeordnet wird, so dass eine Torsion des Rotorblattes auch automatisch zu einer Längenänderung der aufgewickelten Messleitung führt.

Insbesondere können auch mit der erfindungsgemäßen Messmethode Teilabschnitte des Rotorblattes hinsichtlich ihrer Belastung wie auch Längendehnung messtechnisch überwacht werden, was insbesondere im Blattspitzenbereich bei auftretenden Böen sehr hilfreich sein kann, um die Gefahren im konkreten Einzelfall gegebenen Blattlasten besser als bisher zu erfassen.

Ausdrücklich sei darauf verwiesen, dass das in den Fig. 11 bis 14 Offenbarte selbstverständlich auch mit dem ohne weiteres kombinierbar ist, was in den anderen Figuren offenbart ist. Wenn von einem Stoppuhrverfahren die Rede ist, so sei hiermit klargestellt, dass dies unter anderem bedeutet, dass die Stoppuhr bei Empfang des ausgesendeten Impulses gestoppt und gleichzeitig wieder gestartet wird und mithin die Frequenz der Stopp/Startzyklen auf einen bestimmten Zeitbereich, z.B. 1 Sekunde, bedeutet.

Es ist dabei jedwede Form eines Pulssignales denkbar, u.a. auch ein Chirp-Pulssignal gemäß der Sinus  $x/x$ -Funktion.

### Ansprüche

1. Rotorblatt einer Windenergieanlage mit einem Rotorblattanschluss zum Anschluss an eine Nabe des Rotors einer Windenergieanlage und mit  
5 einer Blattspitze, die am gegenüberliegenden Ende des Rotorblattes liegt, dadurch gekennzeichnet, dass über die Länge des Rotorblattes (10) ein elektrischer Leiter (20, 21, 22, 23, 24, 26, 28) verlegt ist, wobei der elektrische Leiter (20, 21, 22, 23, 24, 26, 28) am Rotorblattanschluss beginnt, in Rotorblattlängsrichtung und zurück zum Rotorblattanschluss verläuft, und dass ein De-  
10 tektor (16) vorgesehen ist, der den elektrischen Widerstand des Leiters (20, 21, 22, 23, 24, 26) erfasst, und dass der Detektor (16) mit einer Auswerteeinrichtung verbunden ist, die den elektrischen Widerstand bewertet.
2. Rotorblatt nach Anspruch 1,  
15 dadurch gekennzeichnet, dass die Auswerteeinrichtung mit einer Steuerungseinrichtung der Windenergieanlage verbunden ist und die Windenergieanlage abgeschaltet werden kann, falls eine Widerstandsänderung einen vorbestimmten Wert überschreitet.
- 20 3. Rotorblatt nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass vom Rotorblattanschluss in Rotorblattlängsrichtung hin und zurück eine Mehrzahl von elektrischen Leitern (20, 21, 22, 23, 24, 26, 28) verlegt ist und dass diese Leiter (20, 21, 22, 23, 24, 26, 28) an den Detektor (16) angeschlossen sind.
- 25 4. Rotorblatt nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens einer der elektrischen Leiter (20, 21, 22, 23, 24, 26, 28) sich ein vorgegebenes Maß in Rotorblattlängsrichtung erstreckt, wobei das Maß kürzer als die Rotorblattlänge ist.
- 30 5. Rotorblatt nach Anspruche 3,

dadurch gekennzeichnet, dass sich wenigstens einer der Leiter (20, 21, 22, 23, 24, 26) bis zur Rotorblattspitze (13) hin erstreckt.

6. Rotorblatt nach Anspruch 5,

5 dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens ein Leiter (28), der kürzer als die Rotorblattlänge ist, an einer vorgegeben Stelle mit dem sich über die Rotorblattlänge erstreckenden Leiter galvanisch verbunden ist.

7. Rotorblatt nach einem der vorstehenden Ansprüche,

10 dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens ein elektrischer Leiter (20, 21, 22, 23, 24, 26) fest mit der Tragstruktur (34, 36) des Rotorblattes (10) verbunden ist.

8. Rotorblatt nach Anspruch 7,

15 dadurch gekennzeichnet, dass der elektrische Leiter (20, 21, 22, 23, 24, 26) in die Tragstruktur (34, 36) des Rotorblattes (10) eingeschlossen ist.

9. Rotorblatt nach einem der Ansprüche 7 oder 8,

20 dadurch gekennzeichnet, dass der elektrische Leiter (20, 21, 22, 23, 24, 26) in einem mit der Tragstruktur (34, 36) verbundenen, aber lösbaren Träger (38) eingeschlossen ist.

10. Rotorblatt nach einem der Ansprüche 7 bis 9,

25 dadurch gekennzeichnet, dass an/in jeder Tragstruktur (34, 36) in Rotorblattlängsrichtung wenigstens ein elektrischer Leiter (20, 21, 22, 23, 24, 26, 28) vorgesehen ist.

11. Rotorblatt nach einem der vorstehenden Ansprüche,

30 dadurch gekennzeichnet, dass die elektrischen Leiter (20, 21, 22, 23, 24, 26, 28) mindestens einen vorgegebenen Aluminium-Anteil enthalten.

12. Rotorblatt nach einem der vorstehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet, dass die Leiter (20, 21, 22, 23, 24, 26, 28) eine vorgegebene Oberflächen-Rauhigkeit aufweisen.

13. Rotorblatt nach einem der vorstehenden Ansprüche,  
5 dadurch gekennzeichnet, dass die Leiter (20, 21, 22, 23, 24, 26, 28) an einen Steckverbinder im Bereich der Rotorblattwurzel (11) angeschlossen sind.

14. Verfahren und Vorrichtung zur Messung der Durchbiegung oder Längenänderung eines Erzeugnisses, z.B. eines Rotorblattes oder eines  
10 Turms einer Windenergieanlage, wobei in dem Erzeugnis ein Leiter verlegt ist, welcher bei einer Durchbiegung und/oder Längenänderung des Erzeugnisses eine Längenänderung erfährt, wobei mittels eines Signalgenerators ein Signal, bevorzugt ein Pulssignal, erzeugt und am ersten Eingang der Leitung in diese eingespeist wird, wobei am zweiten Ende der Leitung ein Signalemp-  
15 fänger angeordnet ist, welcher bei Empfang des Signals des Signalgenerators diesen dazu veranlasst, ein weiteres Signal auszusenden und dass eine Einrichtung ausgebildet ist, mittels der die Anzahl der ausgesendeten Signale innerhalb einer vorbestimmten Zeiteinheit gemessen wird und aus dem Vergleich der gemessenen Anzahl der ausgesendeten Signale pro vorbestimmter  
20 Zeiteinheit mit einer gespeicherten Tabelle die Durchbiegung und/oder Verlängerung des Erzeugnisses ermittelbar ist.

15. Verfahren und Vorrichtung zur Messung der Durchbiegung oder Längenänderung eines Erzeugnisses, z.B. eines Rotorblattes oder eines  
25 Turms einer Windenergieanlage, wobei in dem Erzeugnis ein Leiter verlegt ist, welcher bei einer Durchbiegung und/oder Längenänderung des Erzeugnisses eine Längenänderung erfährt, wobei mittels eines Signalgenerators ein Signal, bevorzugt ein Pulssignal, erzeugt und am ersten Eingang der Leitung in diese eingespeist wird, wobei jedoch am zweiten Ende der Leitung ein Re-  
30 flektor angeordnet ist, welcher das Signal vom Signalgenerator zum ersten Ende der Leitung reflektiert, wo dieses bei Eingang von einem Signalempfänger empfangen wird und was dann die zuvor beschriebene Auslösung eines

weiteren Signals durch den Signalgenerator auslöst, wobei Signalgenerator und Signalempfänger miteinander verbunden sind und die Zeit zwischen dem Signalempfang und der Auslösung eines Folgesignals durch den Signalgenerator stets im Wesentlichen konstant ist.

5

16. Verfahren und Vorrichtung nach Anspruch 14 oder 15, wobei die Leitung eine elektrische Leitung oder ein Lichtwellenleiter ist.

10

17. Verfahren und Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Leiter mit dem Erzeugnis wenigstens an seinen Enden formschlüssig verbunden ist.

15

18. Verfahren und Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Leiter wenigstens in einem bestimmten Bereich mit dem Erzeugnis formschlüssig verbunden ist und bei einer Durchbiegung oder Längung des Erzeugnisses der Leiter nur in diesem vorbestimmten Bereich gedehnt wird.

20

19. Windenergieanlage mit wenigstens einem Rotorblatt (10) nach einem der vorstehenden Ansprüche.



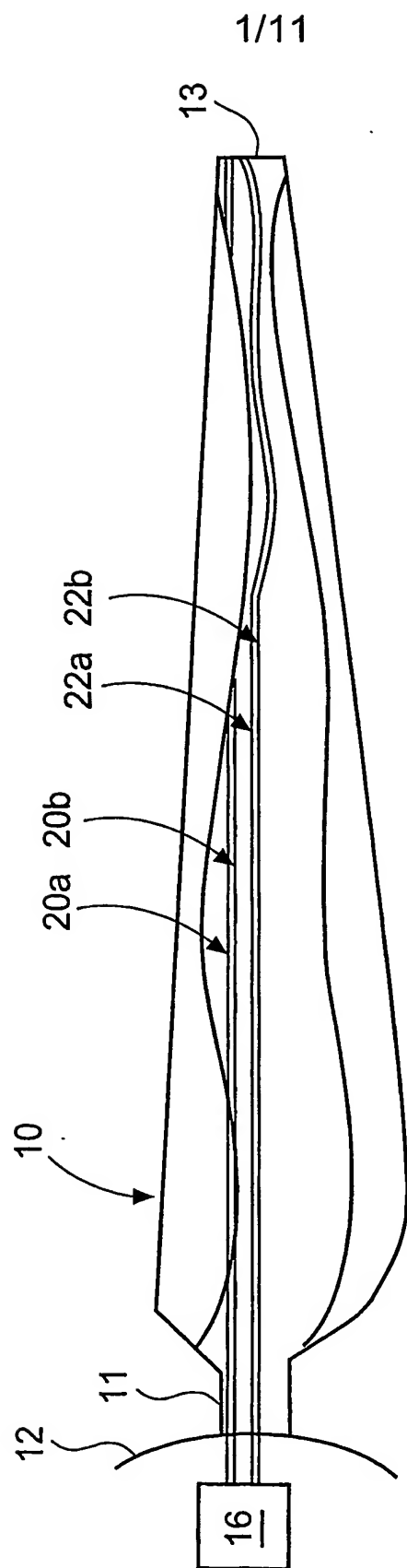


Fig.1

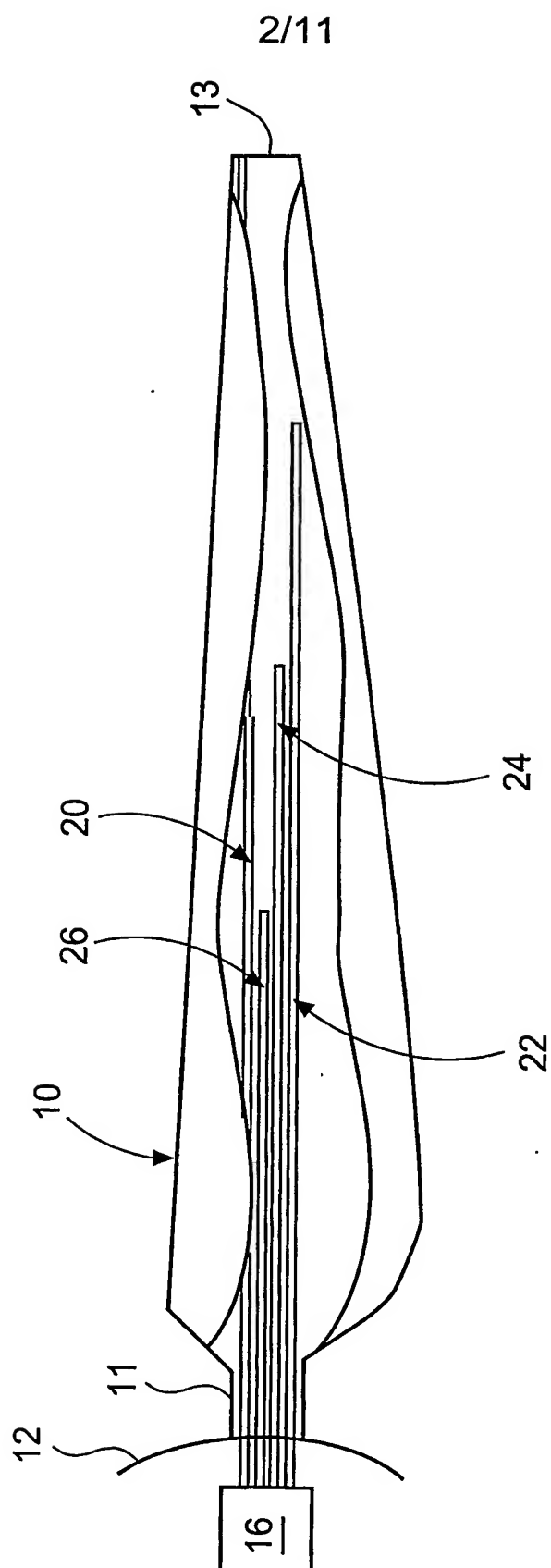


Fig.2

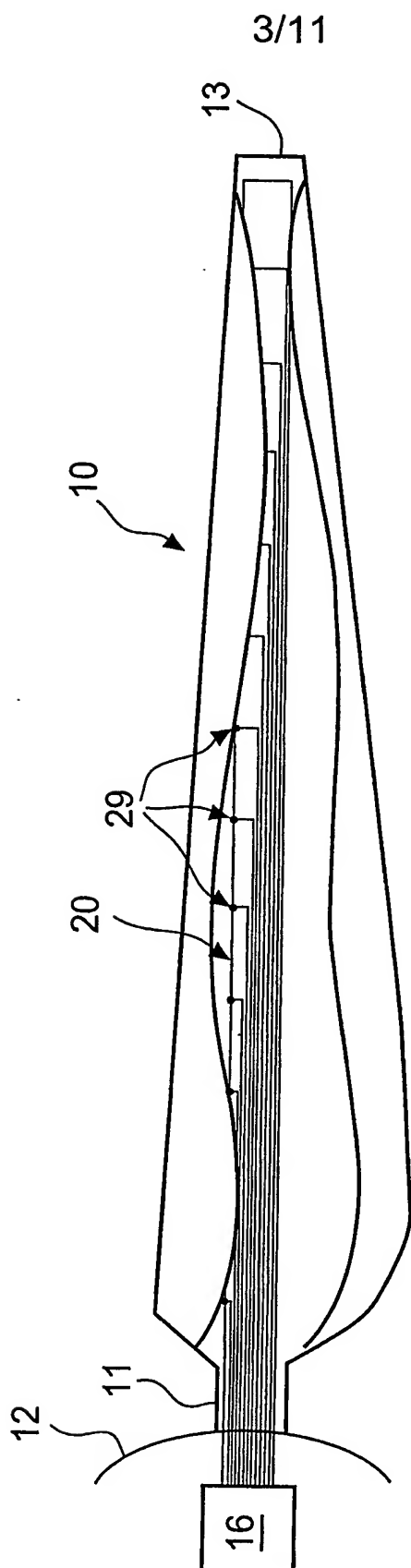


Fig.3

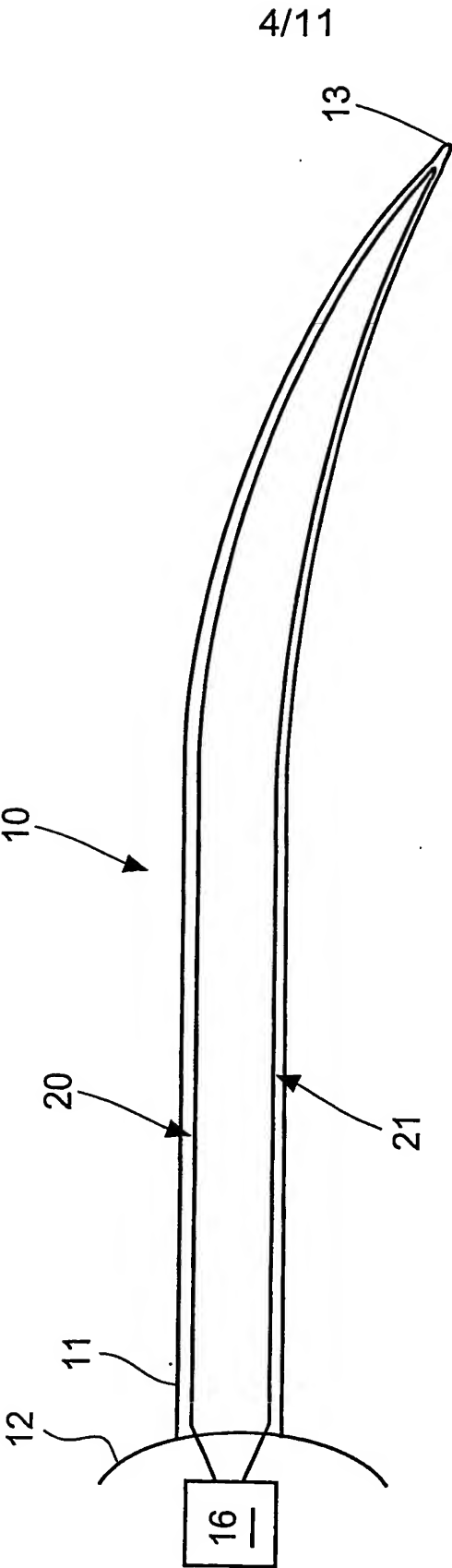


Fig.4

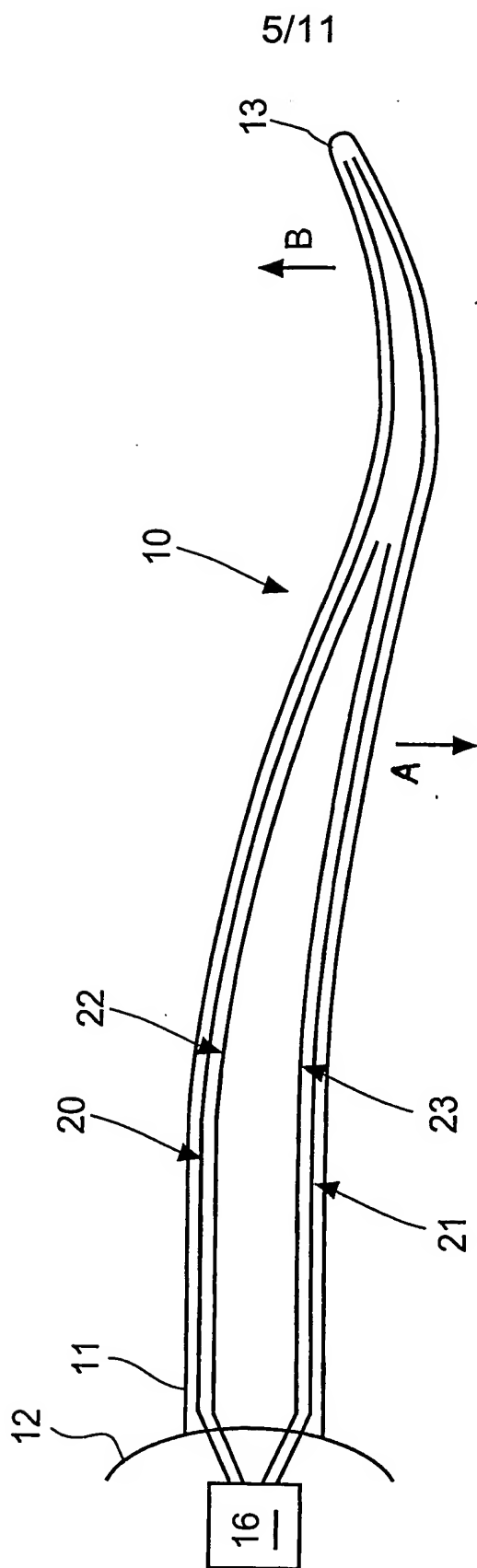
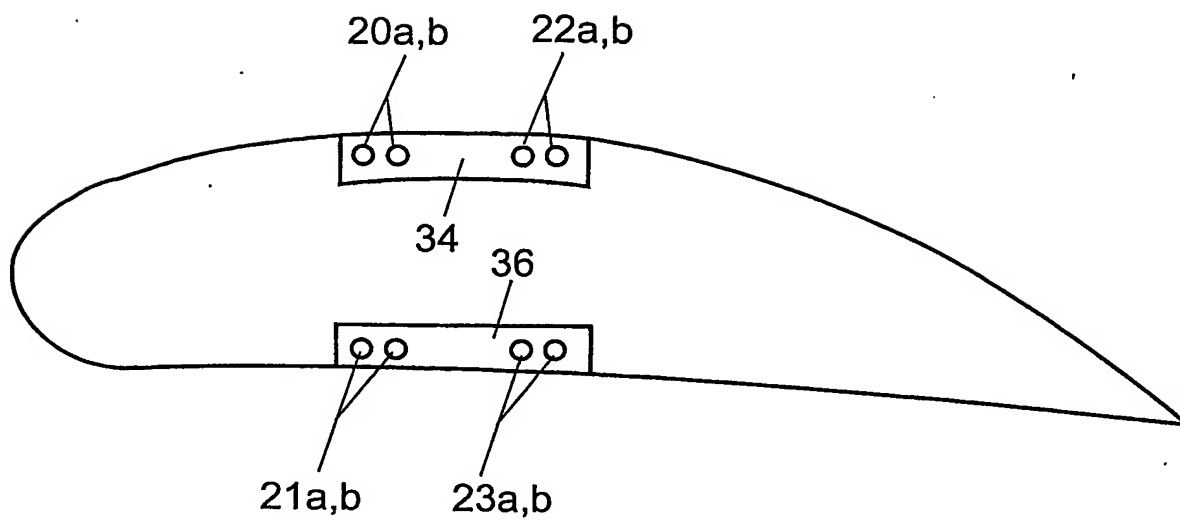
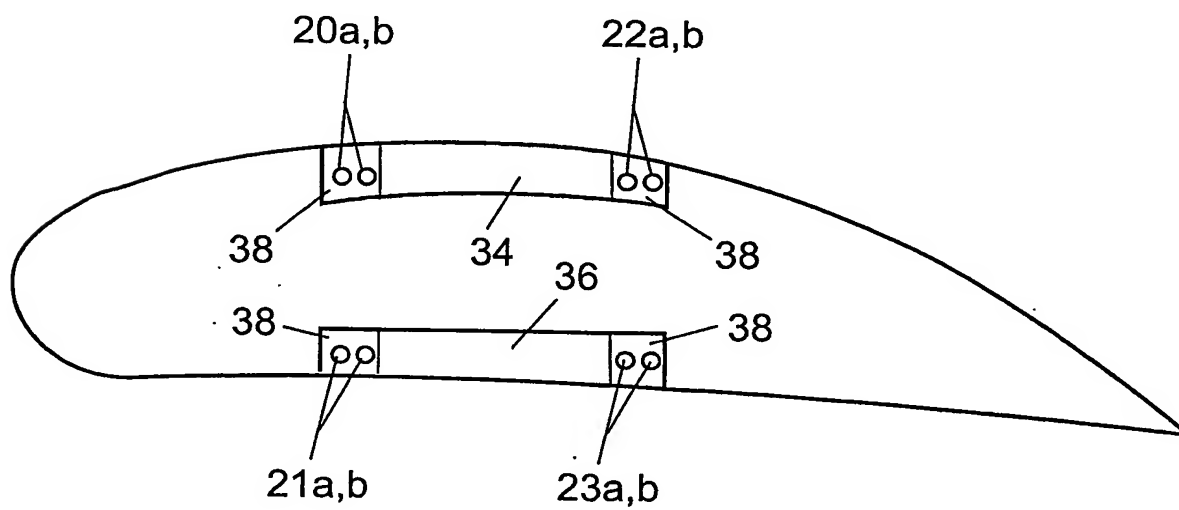


Fig.5

6/11

**Fig.6****Fig.7**

7/11

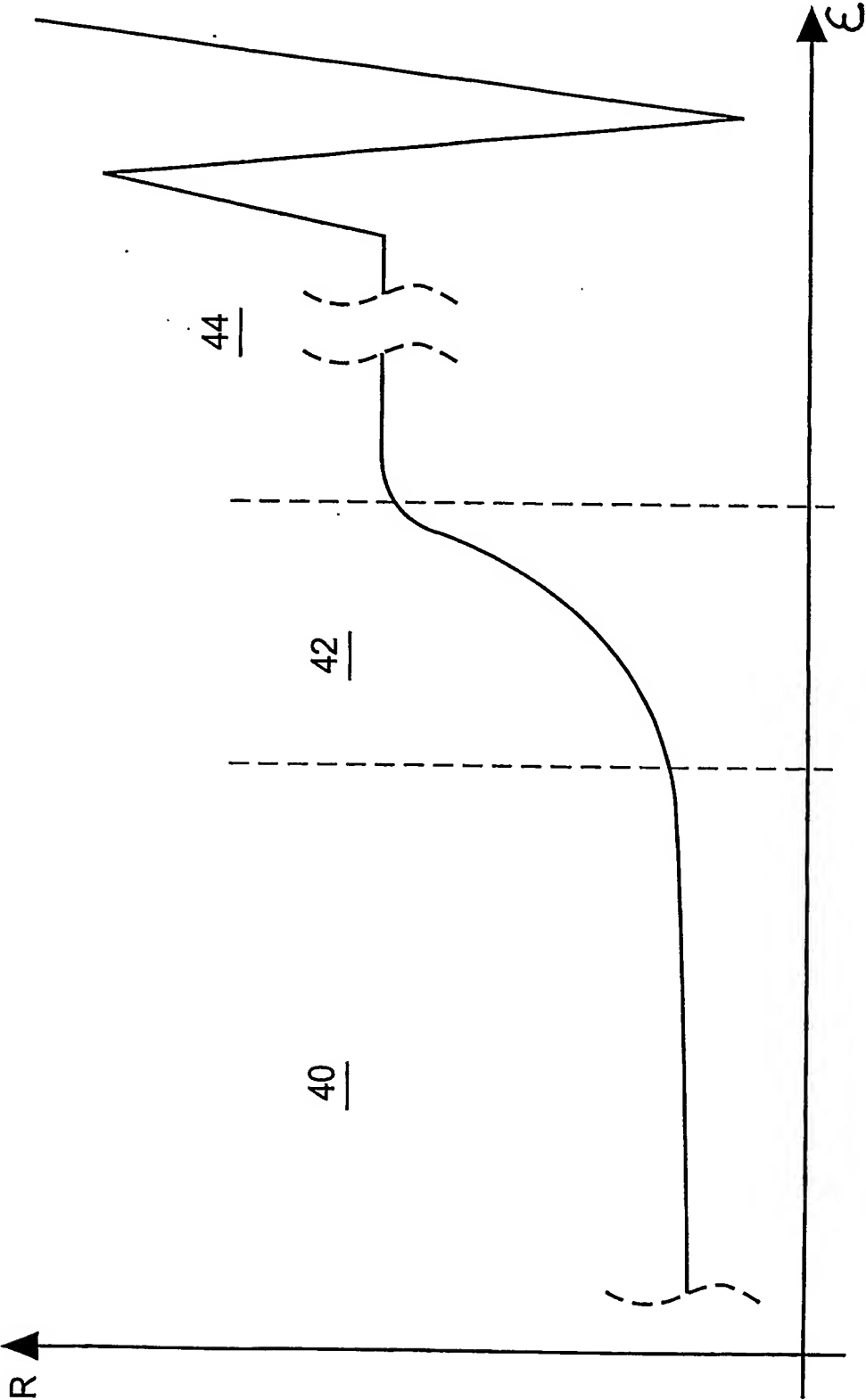
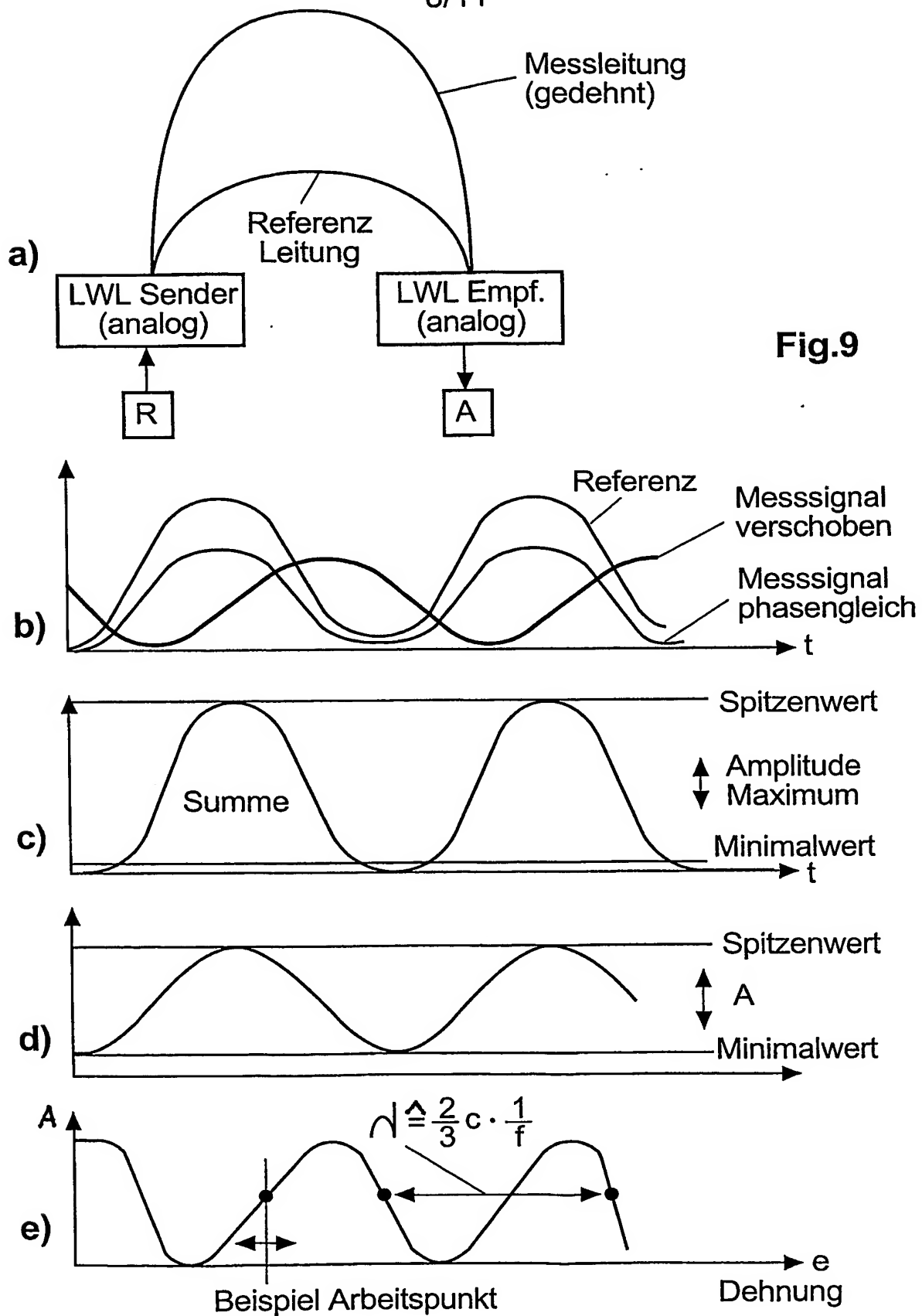


Fig.8

8/11





9/11

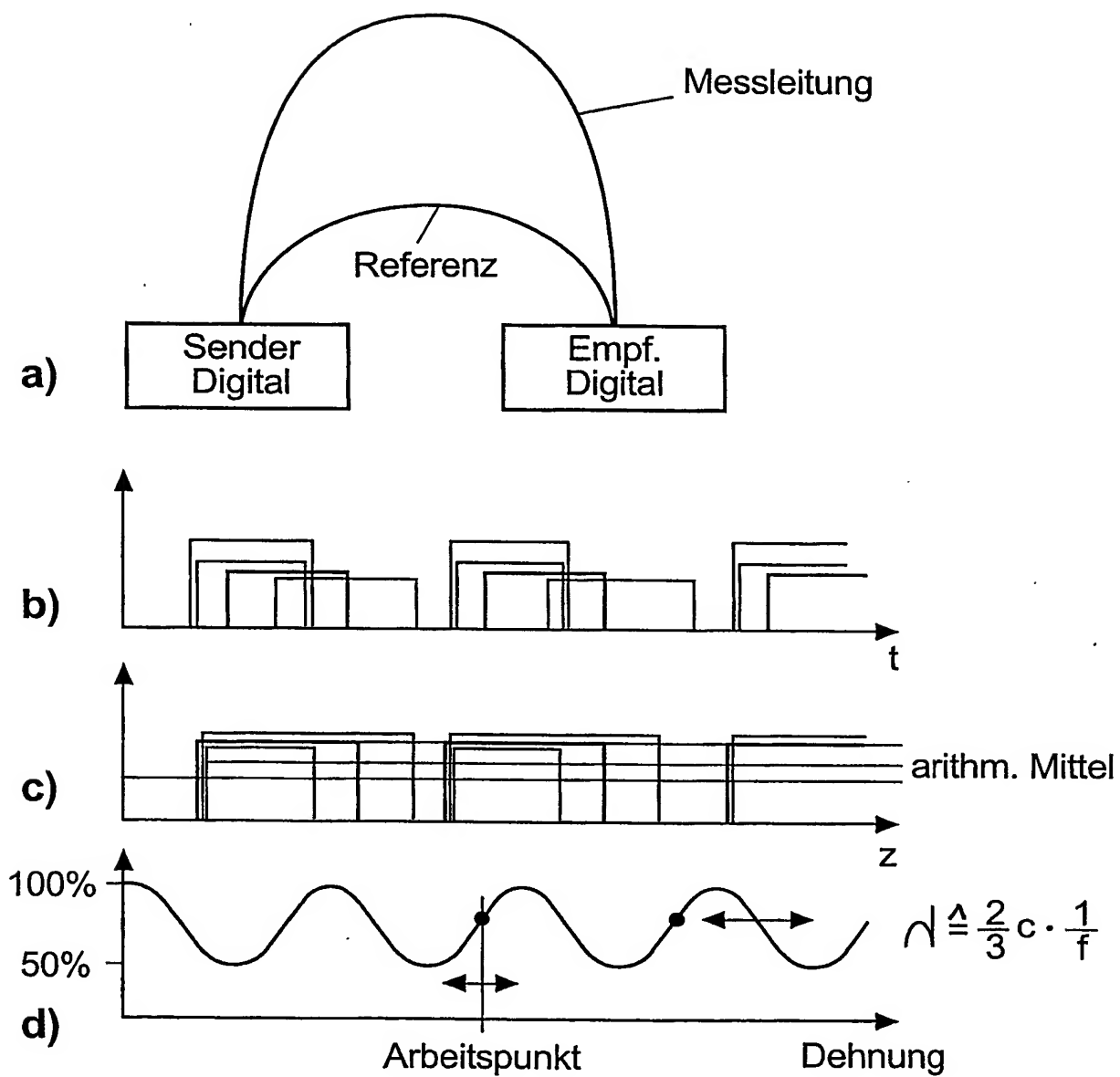


Fig.10

10/11

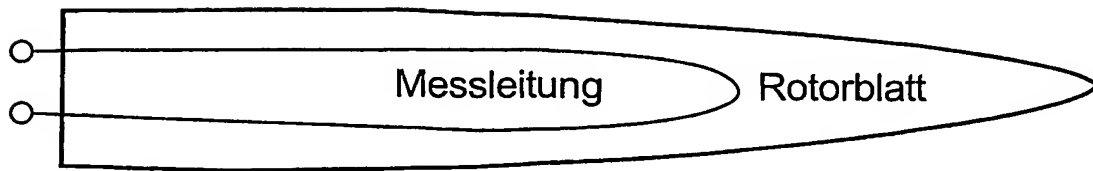


Fig.11

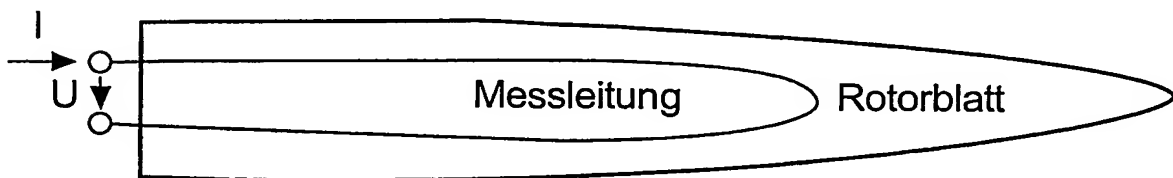


Fig.12

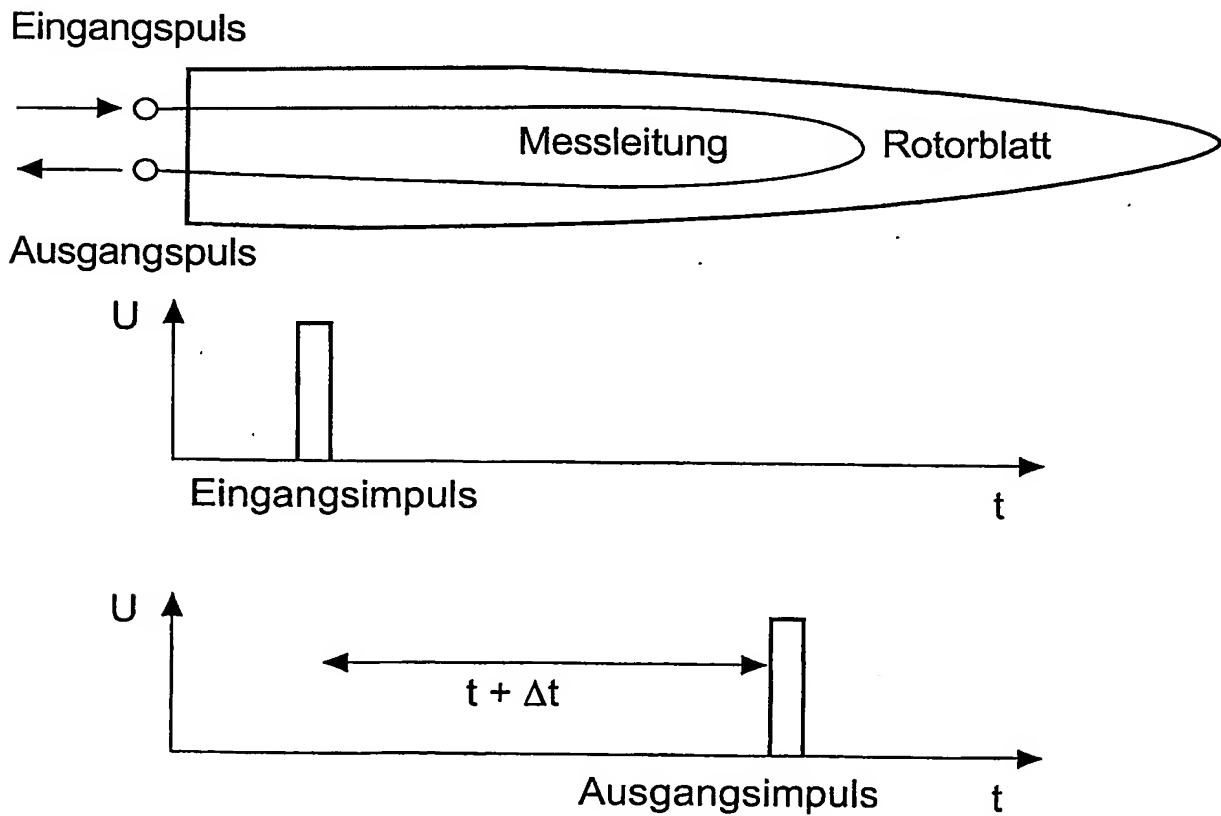


Fig.13

11/11

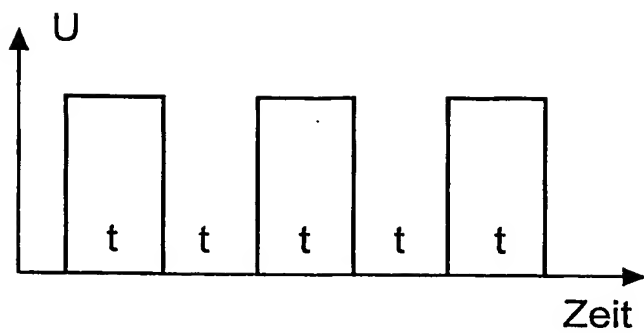
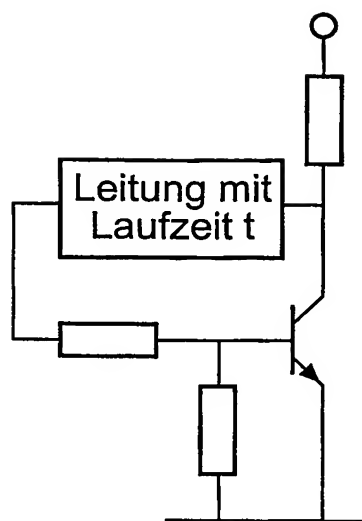


Fig.14

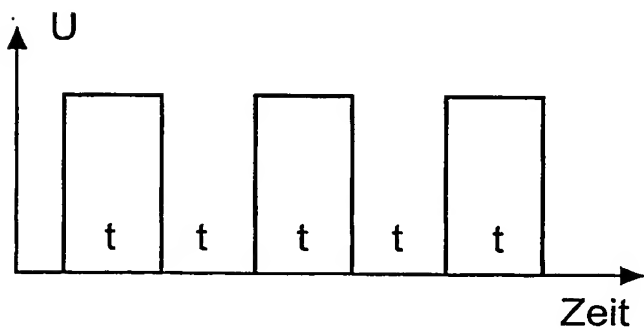
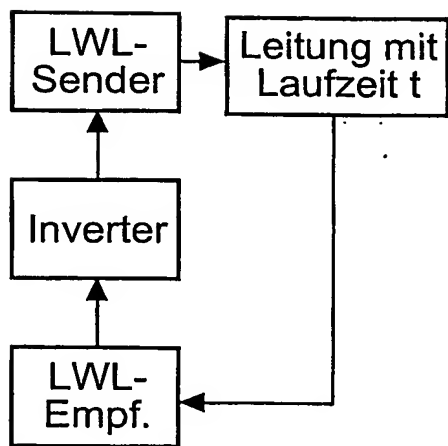


Fig.15

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
P 03/14394

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
IPC 7 F03D11/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
IPC 7 F03D

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the International search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DE 101 13 039 A (WOBLEN ALOYS) 2 October 2002 (2002-10-02) abstract paragraph '0012! - paragraph '0015! paragraph '0028! claim 2	1, 14, 15
P, X	EP 1 359 321 A (GEN ELECTRIC) 5 November 2003 (2003-11-05) abstract claims 1, 25; figures	1-19
P, A	WO 03/050412 A (WOBLEN ALOYS) 19 June 2003 (2003-06-19) page 8, paragraph 5 page 3, paragraph 6 - page 5, paragraph 1	1
	----- -/--	

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

### \* Special categories of cited documents :

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the International filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- \*G\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

26 May 2004

Date of mailing of the international search report

03/06/2004

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Criado Jimenez, F

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/JP 03/14394

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>US 4 026 660 A (UEDA KAZUO ET AL)  31 May 1977 (1977-05-31)  abstract  column 19, line 14 - line 23; figure 17  -----</p>	1

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
P 03/14394

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 10113039	A	02-10-2002	DE 10113039 A1	02-10-2002
			BR 0208137 A	02-03-2004
			CA 2440875 A1	10-10-2002
			WO 02079645 A1	10-10-2002
			EP 1373721 A1	02-01-2004
			NO 20034113 A	14-11-2003
			SK 11602003 A3	02-03-2004
EP 1359321	A	05-11-2003	DE 10219664 A1	06-11-2003
			CA 2426711 A1	02-11-2003
			CN 1461882 A	17-12-2003
			EP 1359321 A1	05-11-2003
			JP 2004036612 A	05-02-2004
WO 03050412	A	19-06-2003	DE 10160360 A1	18-06-2003
			WO 03050412 A1	19-06-2003
US 4026660	A	31-05-1977	JP 1135753 C	14-02-1983
			JP 51137299 A	27-11-1976
			JP 57024280 B	22-05-1982

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

P 03/14394

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
IPK 7 F03D11/00

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)  
IPK 7 F03D

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	DE 101 13 039 A (WOBLEN ALOYS) 2. Oktober 2002 (2002-10-02) Zusammenfassung Absatz '0012! - Absatz '0015! Absatz '0028! Anspruch 2	1, 14, 15
P, X	EP 1 359 321 A (GEN ELECTRIC) 5. November 2003 (2003-11-05) Zusammenfassung Ansprüche 1, 25; Abbildungen	1-19
P, A	WO 03/050412 A (WOBLEN ALOYS) 19. Juni 2003 (2003-06-19) Seite 8, Absatz 5 Seite 3, Absatz 6 - Seite 5, Absatz 1 -/-	1

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

\*A\* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

\*E\* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

\*L\* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

\*O\* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

\*P\* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

\*T\* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

\*X\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

\*Y\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

\*Z\* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

26. Mai 2004

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

03/06/2004

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde  
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Criado Jimenez, F

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/JP 03/14394

## C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	<p>US 4 026 660 A (UEDA KAZUO ET AL)  31. Mai 1977 (1977-05-31)  Zusammenfassung  Spalte 19, Zeile 14 - Zeile 23; Abbildung  17</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	1



# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

P 03/14394

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument			Datum der Veröffentlichung		Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 10113039	A	02-10-2002	DE	10113039	A1	02-10-2002
			BR	0208137	A	02-03-2004
			CA	2440875	A1	10-10-2002
			WO	02079645	A1	10-10-2002
			EP	1373721	A1	02-01-2004
			NO	20034113	A	14-11-2003
			SK	11602003	A3	02-03-2004
EP 1359321	A	05-11-2003	DE	10219664	A1	06-11-2003
			CA	2426711	A1	02-11-2003
			CN	1461882	A	17-12-2003
			EP	1359321	A1	05-11-2003
			JP	2004036612	A	05-02-2004
WO 03050412	A	19-06-2003	DE	10160360	A1	18-06-2003
			WO	03050412	A1	19-06-2003
US 4026660	A	31-05-1977	JP	1135753	C	14-02-1983
			JP	51137299	A	27-11-1976
			JP	57024280	B	22-05-1982